

計算機と脳の類比をめぐる諸研究

—1940年代から1950年代の計算機科学の登場に至るまで（要旨）

杉本 舞

本論文では、1940年代から1950年代にわたり計算機に関わる研究者間で流行した機械と脳の類比、特に計算機と脳の類比に関する諸論について分析した。第一部（第一章及び第二章）では、機械と脳の類比が専門家以外の人々によってどのように用いられていたかに焦点をあて、一般向け科学雑誌に掲載された各種記事についての考察と、エドモンド・バークリーが取り組んだ計算機に関する啓蒙活動の検討を行った。続いて第二部（第三章以降）では、機械と生物体の類比に注目する研究と計算機と脳の類比に注目する研究が1940年代にどのように合流したか、また計算機開発に携わる研究者が1940年代から1950年代にかけて計算機と脳の類比をどのように捉え、研究に反映させていたかについて分析した。またそのような研究のアプローチが1950年代半ばにかけてどのように変化したかについて、特に計算機と知能の関係性（あるいは人工知能に至る研究）という観点から考察した。具体的には、後の時代への影響力が大きかった人物として、ノーバート・ウィーナー、ウォレン・マカロック、ウォルター・ピッツ、ジョン・フォン・ノイマン、アラン・チューリングらを取り上げ、研究者相互の影響関係に留意しながら検討した。

第一章「雑誌記事にみられる『機械の脳』」では、機械を「脳」と描写する表現が、1940年代までの一般向け科学雑誌でどのように用いられていたかについて、*Popular Mechanics*, *Popular Science*, *Modern Mechanix*, *Science and Mechanics*などに掲載された雑誌記事をもとに考察した。1920年代半ばまでは“brain”という表現はほとんど出現しない。1928年頃からインテグラフや潮候推算機を指して「脳」と呼ぶ例が散見され、1920年代末までの時期には機械式アナログ計算機が「脳」と呼ばれた。1930年代前半も微分解析機や積分機が「脳」と呼ばれるが、1930年代後半からは、射撃管制装置に関連する記事が増え始める。この傾向は1940年に太平洋戦争が開戦するとより明確なものとなり、同時にちょうどこの時期に出現した大規模デジタル計算機を「脳」と呼ぶ記事も見受けられるようになる。1951年以降は、記事の本数も減少し、IBMのメインフレーム特集に「脳」という表現が用いられる程度となる。いずれの時代にも、一般科学雑誌における機械と脳の類比は、何の説明も正当化もなく行われているものであり、理論的裏付けなども特に明示されない。

第二章「バークリーと巨大頭脳」では、1940年代に計算機の啓蒙書である『巨大頭脳、あるいは考える機械』を出版したエドモンド・バークリーを取り上げ、計算機の意義を一般に知らせる活動を展開した経緯と、その活動内容の特徴について考察した。またバークリーがデジタル計算機の構造と能力をどのように捉えていたかについても検討した。バークリーは、大学在学時から

論理学の重要性についての関心を抱き、第二次世界大戦直前からは新型高速デジタル計算機についての関心も抱いた。バークリーはデジタル計算機の持つ「推論をする能力」に着目し、計算機を構成する回路と論理が結び付くと考え、そのアイデアの根拠としてシャノンによる1938年の論文「スイッチ回路の記号論的解析」を取り上げた。バークリーは機械と脳の構造面のアナロジーについては留保するものの、「機械頭脳」には人間の脳と同じように、単純な計算に加えて論理を扱う能力があり、その内部では情報の流れが制御されていると解説した。バークリーは計算機の特徴や性能、そのビジネスへの応用可能性と社会的・思想的意義を強調した。それは啓蒙活動の対象が、数学や計算機には精通していないが今後関心を持つかもしれない人たち、すなわち科学雑誌や工作雑誌を購読するような大人のアマチュア、あるいは学生・生徒だったためであった。バークリーは、抽象的理論よりも、実機製作やその基礎となる技術を重要視し、書籍、ロボット、工作キットなどを出版・公表・販売した。それらはいずれも、シャノンやその同僚を含む、計算機や電気工学に関する様々な専門家の協力を得て作られたものであった。バークリーはこのような事業から1960年代前半には撤退するが、これは後の章で述べる、機械と脳の類比が衰退するのとはほぼ同時期であった。

第三章「サイバネティクス研究者たちと機械・神経系・脳」では、ウィーナーがサイバネティクスの名のもとに学際研究を成立させようとする中で、どのような研究者たちが学際研究に参画したか、そしてそういった異なる見解を持つ研究者たちをまとめあげるためにどういった共通課題が提示されたのかを検討した。またサイバネティクスの研究の中でも、マカロック・ピッツによる記号論理を用いた神経網のモデル化研究がどのような内容であったかについて考察した。そもそもウィーナーが学際研究を始めようとした発端は、共同研究者ローゼンブルート及びビゲローとの共著で論文「行動、目的、目的論」を発表したことであった。この論文でウィーナーは、機械と動物における行動や現象の類似性を根拠として、機械と動物がフィードバック機構という同じ機構を持つという仮説を提示した。この着想のもとにウィーナーは様々な領域の研究者を集めたが、学際領域を成立させるための共通課題は、会議を重ねるにつれ、「目的行動」から「制御」、そして「通信」へと変化することとなった。これは、会議には工学者だけでなく精神医学者や社会学者など様々な領域の研究者が参加しており、予測理論、制御理論、計算機といったテーマに加え、社会科学的なテーマも包含できる、より応用性の高い共通課題が必要だったためである。しかし共通の課題やキーワードが与えられても、各領域固有の問題設定は変化せず、「この領域ではどういった問題が解決されるべきか」といったことに対する共通の認識はついに明確には成立しなかった。つまり、ウィーナーは「サイバネティクス」と呼ばれるべき学際領域を確立させることには、結果として失敗していたと言えるのである。またこの章では、サイバネティクスに関わった研究者の中でも、特に計算機と脳の類比に関して後に影響力を及ぼした、マカロックとピ

ッツによる研究について検討した。マカロック - ピッツのモデルでは、神経パルスやその時間間隔を含め、回路の振る舞いを離散的なものとしてとらえるという前提が採用された。このことによって、神経回路モデルへの論理学の適用が可能になった。マカロック - ピッツの目標の一つは、脳のモデルを経由してチャーチ・チューリングのテーゼの一種の正当化を行おうと試みることであったと考えられるが、これは複数の側面から失敗に終わった。

第四章「フォン・ノイマンと計算機・脳・オートマトン」では、サイバネティクス運動開始以降晩年に至るまで、フォン・ノイマンが機械と生物体（あるいは計算機と脳）の類比についてどのように議論を展開したかについて追った。「EDVAC に関する報告書第一草稿」で計算機の素子を描写するにあたって、フォン・ノイマンはマカロック - ピッツのニューロンモデルを一部採用し、アナログ的で複雑な部分を無視して神経素子の振る舞いを単純化した。しかし、その後の計算機的设计に関わる文書にこのモデルは用いられなかった。フォン・ノイマンは、自身のサイバネティクスにまつわる研究を、当初は自動機械としてのオートマトンについての探究ととらえていた。1946年の手紙によれば、フォン・ノイマンは自動機械としてのオートマトンの研究について、三つの方向性を見出していた。マカロック - ピッツらの研究の系譜に連なる神経学の研究、原始的な有機体の顕微鏡的方法による研究、有機体の自己増殖についての形式的な方法による研究である。フォン・ノイマンは第二の路線は諦め、第三の路線（自己増殖）について主に研究し、第一の路線からの流れとして、計算機と中枢神経系の比較について晩年まで論じ続けることとなった。1948年から晩年にかけて、フォン・ノイマンは計算機と中枢神経系の比較に関わる講義や論考の記録を5つ残している。それらを検討すると、1940年代のフォン・ノイマンはマカロック - ピッツのモデルのような抽象的モデルをあくまで通過点と捉えており、その次には現実の物理的実体としての神経系に近づけるようなモデルを考えようとしていたことがわかった。これは自己増殖研究の路線でも同様で、1949年のイリノイ大学での講義では自己増殖オートマトンの運動学的モデルについて述べている。ところが、1952年以降の記述を見ると、フォン・ノイマンは現実に見られるような物理的実体の再現というアプローチを回避し、抽象的なモデルの上で研究を進めるようになっていく。実際、誤動作を許すオートマトンについて1952年1月にカリフォルニア工科大学で行った講義では、オートマトンを「有限の数の入出力を持つブラックボックスである」と初めて明確に定義しているし、1952年の記述として残されている「オートマトンの理論：組立て、増殖、均質性」では、運動学的モデルをさしあたり避け、取り組みやすいセルモデルを取るなど、方向性の転換が明確である。こういった転換の背景には、フォン・ノイマンが中枢神経系あるいは生物体の持つアナログ的特徴と複雑さを研究の障害として捉えていたことがある。ただし、自己増殖オートマトンの研究計画を見る限り、フォン・ノイマンは、いずれ物理的実体としての神経細胞に近いモデルに戻るつもりだったのではないかとも考えられる。この点で

フォン・ノイマンは、その下の世代の研究者たち、とくにマッカーシーらとは一線を画すといえる。

第五章「チューリングと機械の知能」では、チューリングが1940年代末から1950年代初頭にかけて、計算機と脳の関係性、機械の知能についてどのような考え方をしていたかについて考察した。英国のNPLでは、計算機ACEが、チューリングの論文「計算可能な数について」で導入されたチューリング機械の物理的実現として計画された。チューリングはこのACEを含む計算機や類する機械が脳の高度な機能による仕事をどれくらい行えるかについて研究したいと考えていた。チューリングの1930年代以来の関心は実効的・機械的手続きによる計算を超えた高度な仕事ができる機械をどうすれば作れるかということであり、そういった試みの一つは、1948年に出したNPLの所内レポート「知能機械」に見ることができる。チューリングは標準的ユニットのネットワークでできた機械のモデルを提示し、ランダムに接続されたネットワークを「神経系の最も単純なモデル」あるいは幼児の脳のモデルとみなした。こういった「組織化されていない機械」は、罰と報酬に対応する干渉入力で組織化されうるとする。この「組織化」の議論からわかるのは、ランダムな状態のニューロン接続で構成されていた幼児の脳は、外部刺激（経験）などによって変化することで、チューリング機械に実行可能な実効的計算やチューリング機械には実行不可能な直観的判断や発見的探索といった高度な仕事を学ぶのだとチューリングが考えていたこと、加えて脳の発達と同様の過程を経れば、脳と同様の機能を機械が持つ可能性があることとチューリングが考えていたことである。ただし、論文「計算機と知能」をはじめとした1950年代に入ってから議論では、チューリングは「学習機械」について論じるものの、それは子どもの心プログラムを持つ機械であり、何か具体的に素子の接続などを想定した機械ではない。また、そういった機械をどうやって実現するかという具体的議論は先延ばしにされたままとなる。またチューリングの場合も、1950年代になると機械と脳の微視的な構造上の類比は明確には論じられなくなる。

第六章『『オートマトン研究』からダートマス会議へ』では、1950年代半ば以降の展開として、『オートマトン研究』とダートマス会議について考察した。まずウィーナーやマカロック、ピッツ、フォン・ノイマン、シャノンらに続く世代の研究者となる、ミンスキーとマッカーシーの初期の経歴について確認した。両者とも1940年代には計算機と中枢神経系の物理的あるいは構造的類比から脳の機能を実現するという発想を持っていたが、1950年代半ばからはそういった方向性を徐々に転換させた。次に、論文集『オートマトン研究』の編集経緯と、1956年に開催されたダートマス会議の提案書を検討し、これまで見てきたような機械と脳の類比がそれぞれの企画でどのように扱われているかを確かめた。『オートマトン研究』の編集にあたっては、学習機械、神経網、自己増殖機械、そして学習過程や適応的振舞や推論のための計算機の組織化といった主題

の論文が募集され、脳神経学や計算機製作を含む広義のサイバネティクス研究者に投稿依頼が向けられた。しかし最終的に投稿された論文の三分の二近くが、数学や論理学、組み合わせ論による抽象的アプローチに基づいた研究によるものだった。『オートマトン研究』前文からは、感覚神経と運動神経に似た機能を持つ機械と生物の神経系との類比というサイバネティクス的な関心から、電子デジタル計算機に関心が移りつつあること、特にプログラミングに関する理論が新しい研究対象になりつつあることが読みとれる。「オートマトン」の意味についても、ウィーナーがサイバネティクス研究を始めた頃には入出力のある物理的存在としての自動的機械という意味であったオートマトンが、抽象的な数学モデルとしてオートマトンへと変化しつつあるということ、『オートマトン研究』の時点では二つの用法が混在しているが、その後は抽象的な数学モデルとしての用法が主流になるということが明らかとなった。1955年に提出されたダートマス会議の提案書では、実験的研究よりも理論的・抽象的研究が強調され、計算機の上でプログラムを組むことで知能の再現を目指すという方向性が、部分的ではあるが明確に示されている。この過渡的状況は、1956年のダートマス会議に向けたロックフェラー財団への助成金申請の経緯にもみられた。

総括すると、機械と神経系（あるいはその一部としての脳）との類比は遅くとも1920年代以来の歴史を持ち、サイバネティクス運動はそういった機械と神経系（を持つ生物体）の類比から始まったと言える。計算機と脳の類比は、マカロック - ピッツによる研究を発端として1940年代頃から、フォン・ノイマンをはじめとする後の計算機科学の基礎となる領域に関わる研究者を中心として支持され、1940年代から1950年代前半にかけてはサイバネティクス運動の中に合流した。類比の詳細や類比を持ちだす理由は様々であり、単純にひとくくりにはできない。とはいえ、いずれの研究も、脳と類比的な構造を持つ機械を物理的に実現することでもって脳と同様の能力を機械に持たせるという方向性では一致している。これは、微視的に脳と類似な構造を持つ機械を作ることで、巨視的に見られる脳の働きを再現する、あるいは脳の特徴について新たな知識を得ようとするという発想だと言いかえることもできる。複雑なシステムの振る舞いについての知識を、理論から導くのではなく実験から得ようとしている点で、ある意味では経験科学的方法であったともみなせる。

しかし、1950年代も半ばになると、計算機と脳の類比の流行は下火になり、脳と類似の機械を物理的に実現するという方針にも陰りが見え始める。1956年までに、オートマトンに関する研究も抽象的なアプローチのものが増え、計算機の上で知的な能力を模擬的に再現するという研究の方向性が徐々に明確になっている。これには、脳は複雑性の度合いが大きく、計算機と脳の類比に基づいた大規模な機械の製作は難しいという見通しが共有され始めたことも関連している。1940年代からの計算機と脳の類比を視野に入れた研究の流れが徐々に衰退するのと、その代わりに数学的あるいは抽象的な方法による研究が増え始めるのは、ほぼ同時期の1950年代半ばであ

った。これは、計算機科学者たちの言う計算機科学の成立の時期とほぼ一致している。ただし、その後十年の間に成立したと言われる計算機科学のディシプリンと、ダートマス会議時点の研究の方向性の接続については、1950年代後半から1960年代前半にかけての研究動向を吟味する必要があり、今後の課題として残る。